



应用型本科高校系列教材·电子电工类

# 传感器与检测技术 实验指导

胡 波 王 欢 王雪丽 © 主编



中国科学技术大学出版社



应用型本科高校系列教材·电子电工类

# 传感器与检测技术 实验指导



胡雪丽 王雪丽 主编

中国科学技术大学出版社

## 内 容 简 介

本书是应用型本科院校课程“传感器与检测技术”的实验教材。书中的实验项目结合院校的实际仪器设备,侧重于对学生实践操作能力和综合设计能力的培养,具有较强的可操作性和通用性。本书用简明的语言阐述了传感器的工作原理,通俗易懂,减少了对原理中复杂公式的推导,增强了实用性,能使读者结合实际即学即用。本书所包括的实验在教学中可根据实际情况灵活选择。实验内容和难易程度可以满足不同层次的教学要求。每个实验项目都有实验原理和注意事项,部分实验附带思考题,可供教师和学生选用。

本书主要作为电气类相关专业课程“传感器与检测技术”的实验教材,也可用作其他高等院校相关专业的实验课程教材和教学参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术实验指导/胡波,王欢,王雪丽主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2017.2

ISBN 978-7-312-04105-1

I. 传… II. ① 胡… ② 王… ③ 王… III. 传感器—检测—实验—高等学校—教材 IV. TP212-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 004527 号

出版 中国科学技术大学出版社  
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026  
<http://press.ustc.edu.cn>  
印刷 安徽省瑞隆印务有限公司  
发行 中国科学技术大学出版社  
经销 全国新华书店经销  
开本 710 mm×1000 mm 1/16  
印张 9.75  
字数 208 千  
版次 2017 年 2 月第 1 版  
印次 2017 年 2 月第 1 次印刷  
定价 22.00 元

# 前 言

随着社会的进步,科学技术的发展,特别是近 20 年来,电子技术日新月异,计算机技术的应用和普及把人类带入了信息时代,各种电器设备充满了人们生产和生活的各个领域。相当大一部分的电器设备都应用到了传感器件,传感器技术是现代信息技术中的主要技术之一,在国民经济建设中占据有极其重要的地位。

在工农业生产各领域中,工厂的自动流水生产线、全自动加工设备、许多智能化的检测仪器设备,都大量地采用了各种各样的传感器,它们在合理化地进行生产、减轻人们的劳动强度、避免有害的作业等方面发挥了巨大的作用。在家用电器领域中,如全自动洗衣机、电饭煲和微波炉都离不开传感器。在医疗卫生领域中,如电子脉搏仪、体温计、医用呼吸机、超声波诊断仪、断层扫描(CT)及核磁共振诊断设备,也都大量地使用了各种各样的传感技术。这些先进设备对人类改善生活水平、提高生活质量和健康水平起到了重要的作用。在军事国防领域中,各种侦测技术,如红外夜视探测、雷达跟踪、武器的精确制导,没有传感器都是难以实现的。在航空航天领域中,空中管制、导航、飞机的飞行管理和自动驾驶、仪表着陆盲降系统,都需要传感器。人造卫星的遥感、遥测都与传感器紧密相关。没有传感器,要实现诸如此类的功能都是不可能的。

THSCCG-1 型和 THSCCG-2 型系列传感器与检测技术实验台主要用于各本科院校,大、中专院校及职业院校开设的“传感器原理与技术”“自动化检测技术”“非电量电测技术”“工业自动化仪表与控制”以及“机械量电测”等课程的实验教学。实验台上采用的大部分传感器虽然是教学传感器(采用透明结构以便于教学),但其结构与线路是工业应用传感器的基础。学生通过实验可以加深对书本知识的理解,并可在实验进行过程中,通过对信号的拾取、转换、分析,掌握作为一个科技工作者应具有的基本的操作技能与动手能力。

THSCCG-1 系列传感器与检测技术实验台为适应不同类别、不同层次的专业需要,推出了模块化的新产品,其优点在于:能适应不同专业的需

要,不同专业可以有不同的实验模板;作为信息拾取的工具,传感器发展很快,新产品能适应不断发展的形势,不断补充新型的传感器模板;学生可以利用主控台的共用源进行课程设计、毕业设计和自制装置。

“传感器与检测技术”是工程特点很突出和实践性很强的一门课程,实验是教学过程中不可缺少的环节,其对于学生学习基本理论、掌握基本技能、培养工程技术人员的专业素质和能力具有十分重要的作用。

本书是“传感器与检测技术”等课程的配套实验教材,是按照安徽省教育厅制定的教学大纲要求编写的。本书许多内容早已用于宿州学院和巢湖学院电气、电子类相关专业的“传感器与检测技术”及相近课程的实验教学,经过多届学生的使用,反复修改、充实与更新,得到广大师生的认可和赞誉。

全书共分为两部分:第一部分是 THSCCG-1 型和 THSCCG-2 型实验仪器简介,标题中加“\*”的实验对应的实验仪器是 THSCCG-2;第二部分是实验指导,共包括 19 个实验。各高校可根据本校的教学条件、教学要求和学时多少选做。

实验分为基础性实验和综合性实验:基础性实验按照基本理论体系编写;为了适应应用型本科教学实践,本书强化了综合性实验的内容。这些实验项目的设置对于提高学生分析、解决实际问题的能力有很大的帮助。

每个实验都有注意事项,希望学生认真阅读、谨慎操作,以免损坏器件。

本书由宿州学院的胡波、王雪丽以及滁州学院的王欢主编,宿州学院的赵水英以及滁州学院的张阳熠、胡毅参编。

在本书编写过程中,我们参阅了许多兄弟院校的有关教材,吸取了宝贵经验,谨此表示衷心的感谢。本书的编写工作还得到了宿州学院机械学院领导的大力支持,在此也表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间比较仓促,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正!

编 者

2016 年 8 月

# 目 录

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| 前言 .....                      | ( i )  |
| THSCCG-1 型传感器检测技术实验装置简介 ..... | ( 1 )  |
| THSCCG-2 型传感器检测技术实验装置简介 ..... | ( 3 )  |
| 实验一 金属箔式应变片性能实验 .....         | ( 5 )  |
| 项目一 金属箔式应变片:单臂电桥搭建.....       | ( 5 )  |
| 项目二 金属箔式应变片:半桥搭建.....         | ( 9 )  |
| 项目三 金属箔式应变片:全桥搭建.....         | ( 11 ) |
| 项目四 金属箔式应变片:单臂、半桥、全桥比较.....   | ( 13 ) |
| 项目五 金属箔式应变片的温度效应及补偿 .....     | ( 15 ) |
| 项目六 金属箔式应变片的温度影响 .....        | ( 18 ) |
| 实验二 金属箔式应变片的应用 .....          | ( 20 ) |
| 项目一 移相器实验 .....               | ( 20 ) |
| 项目二 相敏检波器实验 .....             | ( 21 ) |
| 项目三 直流全桥的应用:电子秤.....          | ( 24 ) |
| 项目四 交流全桥的应用:振动检测.....         | ( 25 ) |
| 项目五 交流全桥的应用:电子秤.....          | ( 28 ) |
| 项目六 金属应变传感器的应用:电子秤* .....     | ( 29 ) |
| 实验三 热电偶实验 .....               | ( 32 ) |
| 项目一 热电偶原理及现象 .....            | ( 32 ) |
| 项目二 热电偶的冷端温度补偿 .....          | ( 34 ) |
| 项目三 E 型热电偶测量温度 .....          | ( 37 ) |
| 实验四 差动变压器实验 .....             | ( 39 ) |
| 项目一 差动变压器性能测试 .....           | ( 39 ) |
| 项目二 差动变压器零点残余电压补偿 .....       | ( 40 ) |
| 项目三 激励频率对差动变压器特性的影响测试 .....   | ( 42 ) |
| 项目四 差动变压器的标定 .....            | ( 43 ) |
| 项目五 差动变压器的应用:振动测量.....        | ( 44 ) |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| 项目六 差动变压器的应用:电子秤              | (46) |
| <b>实验五 电容传感器实验</b>            | (48) |
| 项目一 电容传感器的位移特性测试              | (48) |
| 项目二 电容传感器的动态特性测试              | (50) |
| <b>实验六 霍尔传感器实验</b>            | (52) |
| 项目一 直流激励时霍尔传感器的静态位移特性测试       | (52) |
| 项目二 霍尔传感器的应用:电子秤              | (53) |
| 项目三 交流激励时霍尔传感器的位移特性测试         | (54) |
| 项目四 霍尔传感器的应用:测量振动             | (56) |
| <b>实验七 压电传感器实验</b>            | (58) |
| 项目一 压电传感器的动态响应实验              | (58) |
| 项目二 压电传感器的引线电容对电压放大器的影响及电荷放大器 | (59) |
| 项目三 压电传感器的应用:测量振动             | (61) |
| <b>实验八 光纤位移传感器实验</b>          | (63) |
| 项目一 光纤位移传感器静态实验               | (63) |
| 项目二 光纤位移传感器的动态测量一             | (64) |
| 项目三 光纤位移传感器的动态测量二             | (65) |
| 项目四 光纤传感器的应用:测量振动             | (66) |
| <b>实验九 电涡流传感器实验</b>           | (68) |
| 项目一 电涡流传感器的位移特性测试             | (68) |
| 项目二 被测体材质、面积对电涡流传感器特性的影响测试    | (70) |
| 项目三 电涡流传感器的应用:测量振动            | (71) |
| 项目四 电涡流传感器的应用:电子秤             | (72) |
| <b>实验十 测量温度实验</b>             | (74) |
| 项目一 集成温度传感器的温度特性测试            | (74) |
| 项目二 铂电阻温度特性测试                 | (77) |
| 项目三 PN结温度传感器测温实验              | (80) |
| 项目四 热敏电阻演示实验                  | (81) |
| 项目五 Pt100 温度控制的应用             | (83) |
| <b>实验十一 气敏和湿敏传感器实验</b>        | (86) |
| 项目一 气敏传感器(MQ3)实验              | (86) |
| 项目二 湿敏电阻( $R_H$ )实验           | (89) |
| 项目三 气敏传感器测试酒精浓度               | (90) |
| 项目四 湿敏传感器测量湿度                 | (91) |

|      |                         |        |
|------|-------------------------|--------|
| 实验十二 | 转速测量实验 .....            | ( 94 ) |
| 项目一  | 光电转速传感器的应用:转速测量 .....   | ( 94 ) |
| 项目二  | 霍尔传感器的应用:转速测量* .....    | ( 95 ) |
| 项目三  | 智能调节仪的应用:转速控制 .....     | ( 97 ) |
| 实验十三 | I/V、F/V 转换实验* .....     | (100)  |
| 实验十四 | 直流电机驱动 .....            | (102)  |
| 实验十五 | 压阻式传感器实验 .....          | (106)  |
| 项目一  | 扩散硅压阻式压力传感器实验 .....     | (106)  |
| 项目二  | 扩散硅压力传感器的应用:测量液位* ..... | (108)  |
| 实验十六 | 涡轮流量传感器测定流量* .....      | (112)  |
| 实验十七 | 磁电式传感器实验 .....          | (114)  |
| 项目一  | 磁电式传感器的性能 .....         | (114)  |
| 项目二  | 磁电式传感器的应用:测量转速* .....   | (115)  |
| 实验十八 | 温度测量和控制实验* .....        | (117)  |
| 项目一  | A/D 与 D/A 转换* .....     | (117)  |
| 项目二  | 集成温度传感器测量温度* .....      | (120)  |
| 项目三  | 智能调节仪控制温度* .....        | (123)  |
| 项目四  | 铜热电阻测量温度* .....         | (126)  |
| 项目五  | K 型热电偶测量温度* .....       | (130)  |
| 实验十九 | 位移测量实验* .....           | (134)  |
| 项目一  | 超声波测距* .....            | (134)  |
| 项目二  | 长光栅传感器测量位移* .....       | (135)  |
| 附录   | 卡尺、千分尺的使用方法介绍 .....     | (138)  |
|      | 认识卡尺和千分尺 .....          | (138)  |
|      | 卡尺、千分尺的使用 .....         | (140)  |
|      | 卡尺、千分尺使用注意事项 .....      | (142)  |
|      | 卡尺、千分尺的常见故障及维护 .....    | (143)  |
| 参考文献 | .....                   | (144)  |
| 结束语  | .....                   | (145)  |

# THSCCG-1 型传感器检测技术实验装置简介

## 一、概述

THSCCG-1 型传感器检测技术实验装置是根据《中华人民共和国教育行业标准：电工电子类实验基地仪器设备配备标准》和教育部《振兴 21 世纪职业教育课程改革和教材建设规划》要求,按照职业教育的教学和实验要求研发的产品,适用于高职院校、职业学校仪器仪表、自动控制、电子技术与机电技术等专业的实验教学。

## 二、设备构成

实验装置主要由实验台、三源板、传感器和变送模块组成。

### (一) 实验台部分

由 1~10 kHz 音频信号发生器、1~30 Hz 低频信号发生器、四组直流稳压电源 ( $\pm 15\text{ V}$ ,  $\pm 5\text{ V}$ ,  $\pm (2\sim 10)\text{ V}$ ,  $2\sim 24\text{ V}$  可调)、数字式电压表、频率/转速表、定时器以及高精度温度调节仪组成。

### (二) 三源板部分

#### 1. 热源

0~220 V 交流电源加热,温度可控制在室温至 120  $^{\circ}\text{C}$ ,控制精度  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 2. 转动源

2~24 V 直流电源驱动,转速在 0~4 500 rpm(r/min,可调)。

#### 3. 振动源

振动频率 1~30 Hz(可调)。

### (三) 传感器及变送模块部分

传感器包含金属应变传感器、差动变压器传感器、磁电传感器、Pt100 温度传感器、K 型热电偶、光电开关和霍尔开关。

变送模块包括电桥、电压放大器、差动放大器、电荷放大器、低通滤波器、相敏检波器、移相器、温度检测与调理等。

实验台作为教学实验仪器,所用传感器基本上都是工业上应用的传感器,以便学生有直观的认识;变送模块上附有变送器的原理框图;测量连接线用定制的接触电阻极小的迭插式联机插头连接。

### 三、实验内容

本装置的实验项目共 51 项,包括基本技能实验项目 34 项,应用型实验项目 21 项,涉及压力、振动、位移、温度、转速等常见物理量的检测。通过这些实验项目,学生可以更全面地学习和掌握信号传感、信号处理、信号转换的整个过程。

# THSCCG-2 型传感器检测技术实验装置简介

## 一、实验设备组成

THSCCG-2 型传感器检测技术实验装置是采用模块化思想设计的,由实验台、传感器及信号处理实验模块、数据采集卡及软件等几部分组成。

### (一) 实验台部分

#### 1. 四组直流稳压电源

+24 V,  $\pm 12$  V, +5 V, 0~5 V 可调,有短路保护功能。

#### 2. 恒流源

0~20 mA 连续可调,最大输出电压 12 V。

#### 3. 数字式直流电压表

量程 0~20 V,分为 200 mV, 2 V, 20 V 三挡,精度 0.5 V 级。

#### 4. 数字式直流毫安表

量程 0~20 mA,三位半数字显示、精度 0.5 mA 级,有内测、外测功能。

#### 5. 频率/转速表

频率测量范围 1~9 999 Hz,转速测量范围 1~9 999 rpm。

#### 6. 计时器

可计时 0~9 999 s,精确到 0.1 s。

#### 7. PID 调节仪

多种输入、输出规格,有人工智能调节以及参数自整定功能,采用先进控制算法。

### (二) 传感器和信号处理实验模块

传感器主要包括金属应变式传感器、扩散硅压力传感器、涡轮流量传感器、霍尔传感器、磁电传感器、光电转速传感器、集成温度传感器(AD590)、Pt100 温度传感器、K 型热电偶、气敏传感器、湿度传感器、红外传感器、超声波传感器和光栅传感器等。根据实验情况对其进行了模块化处理,具体的信号处理实验模块如下:

- ① 温度传感器实验模块;
- ② 转速传感器实验模块;
- ③ 液位/流量传感器实验模块;

- ④ 金属应变传感器实验模块;
- ⑤ 气敏、湿敏传感器实验模块;
- ⑥ 红外传感器实验模块;
- ⑦ 超声位移传感器实验模块;
- ⑧ 增量式编码器实验模块;
- ⑨ 光栅位移传感器实验模块;
- ⑩ 传感信号调理/转换实验模块。

### (三) 数据采集卡及软件

#### 1. 高速 USB 数据采集卡

含 4 路模拟量输入, 2 路模拟量输出, 8 路开关量输入/输出, 14 位 A/D 转换, A/D 采样最大速度 400 kHz。

#### 2. 上位机软件

本软件配合 USB 数据采集卡使用, 实时采集数据, 对数据进行动态或静态处理和分析, 具备双通道虚拟示波器、虚拟函数信号发生器、脚本编辑器等功能。

## 二、实验内容

本装置的实验项目共 54 项, 涉及压力、位移、温度、转速、浓度等常见物理量的检测。通过这些实验项目, 学生可以更全面地学习和掌握信号传感、信号处理以及信号转换的整个过程。

# 实验一 金属箔式应变片性能实验

## 项目一 金属箔式应变片:单臂电桥搭建

### 一、实验目的

了解金属箔式应变片的应变效应,掌握单臂电桥的接线方法和用途。

### 二、实验仪器

实验台、应变传感器实验模块、托盘、砝码、万用表(自备)。

### 三、相关原理

电阻丝在外力作用下发生机械变形时,其电阻值发生变化,这就是电阻应变效应,描述电阻应变效应的关系式为

$$\frac{\Delta R}{R} = K\epsilon$$

式中, $\frac{\Delta R}{R}$ 为电阻丝电阻相对变化, $K$ 为应变灵敏系数, $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ 为电阻丝长度的相对变化。

金属箔式应变片就是通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感组件,如图 1.1 所示,4 个金属箔应变片被分别贴在弹性体的上、下两侧,弹性体受到压力发生形变,应变片随弹性体形变被拉伸或压缩。

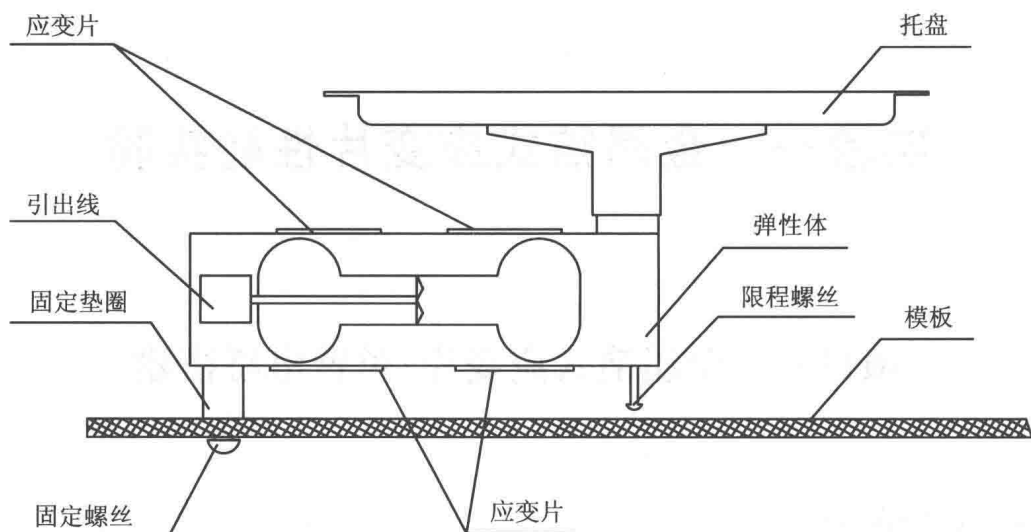


图 1.1 应变传感器安装图

通过应变片将被测部位受力状态变化通过电桥的作用转换成由电阻到电压的比例变化。

如图 1.2 所示,  $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$  为固定电阻, 其与应变片一起构成一个单臂电桥, 其输出电压:

$$U_o = \frac{E}{4} \cdot \frac{\frac{\Delta R}{R}}{1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}} \quad (1.1)$$

式中,  $E$  为电桥电源电压,  $R$  为固定电阻值。式(1.1)表明单臂电桥输出为非线性的, 灵敏度为

$$L = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot 100\%$$

## 四、实验内容与操作步骤

(1) 应变传感器上的各应变片已分别接到应变传感器模块左上方的  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  上, 可用万用表测量判别:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 350 \, \Omega$$

(2) 差动放大器调零。

从实验台接入  $\pm 15 \, \text{V}$  电源, 检查无误后, 合上实验台电源开关, 将差动放大器的输入端  $U_i$  短接并与地短接, 输出端  $U_o$  接数显电压表(选择  $2 \, \text{V}$  挡)。

将电位器  $W_3$  调到增益最大位置(顺时针转到底), 调节电位器  $W_4$  使电压表显示为  $0 \, \text{V}$ 。

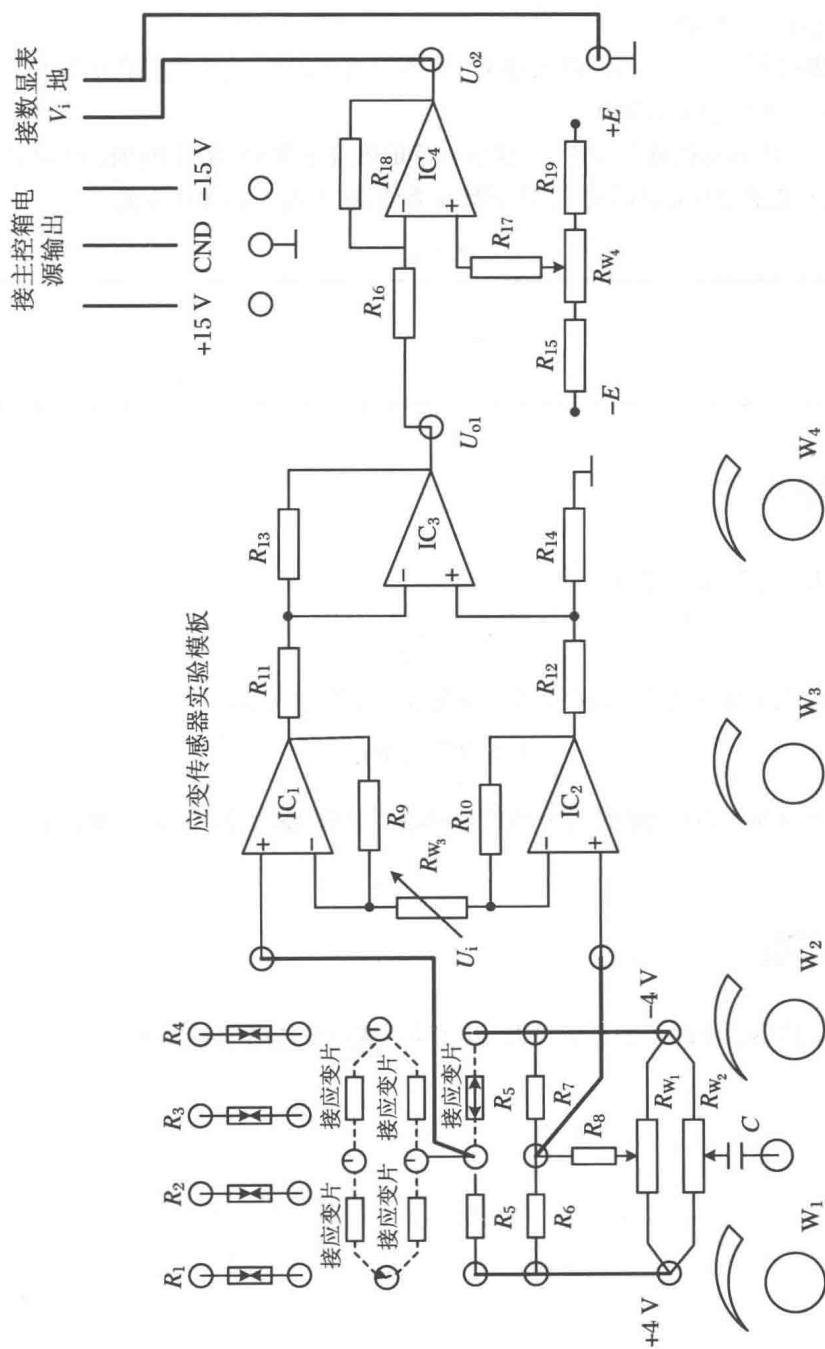


图1.2 单臂电桥接线图

关闭实验台电源( $W_3$ 、 $W_4$  的位置确定后不能改动)。

(3) 按图 1.2 所示连线,将应变式传感器的其中一个应变电阻(如  $R_1$ )接入电桥,与  $R_5, R_6, R_7$  构成一个单臂直流电桥。

(4) 加托盘后电桥调零。

电桥输出接到差动放大器的输入端  $U_i$ ,检查接线无误后,合上主控台电源开关,预热 5 min,调节  $W_1$  使电压表显示为 0。

(5) 在应变传感器托盘上放置一只砝码,读取数显表数值,依次增加砝码和读取相应的数显表数值,直到 200 g 砝码加完,计下数显表值,填入表 1.1,关闭电源。

表 1.1

|        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 质量(g)  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 电压(mV) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## 五、实验报告

根据表 1.1 计算系统灵敏度:

$$S = \frac{\Delta U}{\Delta W}$$

式中, $\Delta U$  为输出电压变化量, $\Delta W$  为质量变化量。非线性误差:

$$\delta f_1 = \frac{\Delta m}{y_{F.S}} \times 100\%$$

式中, $\Delta m$  为输出值(多次测量时为平均值)与拟合直线的最大偏差, $y_{F.S}$  为满量程(200 g)输出平均值。

## 六、注意事项

加在应变传感器上的压力不应过大,否则易造成应变传感器的损坏。

## 项目二 金属箔式应变片:半桥搭建

### 一、实验目的

比较半桥与单臂电桥的不同性能,掌握其接线方法。

### 二、实验仪器

实验台、应变传感器实验模块、托盘、砝码、万用表(自备)。

### 三、相关原理

不同受力方向的两只应变片接入电桥作为邻边,如图 1.3 所示,电桥输出灵敏度提高,非线性得到改善。当两只应变片的阻值相同、应变数也相同时,半桥的输出电压为

$$U_o = EK \frac{\varepsilon}{2} = \frac{E}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (1.2)$$

式中, $E$  为电桥电源电压。式(1.2)表明,半桥输出与应变片阻值变化率呈线性关系。如图 1.3 所示接线。

### 四、实验内容与操作步骤

- (1) 应变传感器已安装在应变传感器实验模块上,可参考图 1.1。
- (2) 差动放大器调零,参考本实验项目一操作步骤(2)。
- (3) 按图 1.3 所示接线,将受力相反(一片受拉,一片受压)的两只应变片接入电桥的邻边。
- (4) 加托盘后电桥调零,参考本实验项目一操作步骤(4)。
- (5) 在应变传感器托盘上放置一只砝码,读取数显表数值,依次增加砝码和读取相应的数显表数值,直到 200 g 砝码加完,记下数显表数值,填入表 1.2,关闭电源。

表 1.2

|        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 质量(g)  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 电压(mV) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |